7

Páginas de la historia de la tierra

Estas rocas, estos huesos, estos helechos y conchas fósiles nos impresionan por su belleza y nos revelan los secretos del libro de la tierra.

Alfred Noyes, 1925.

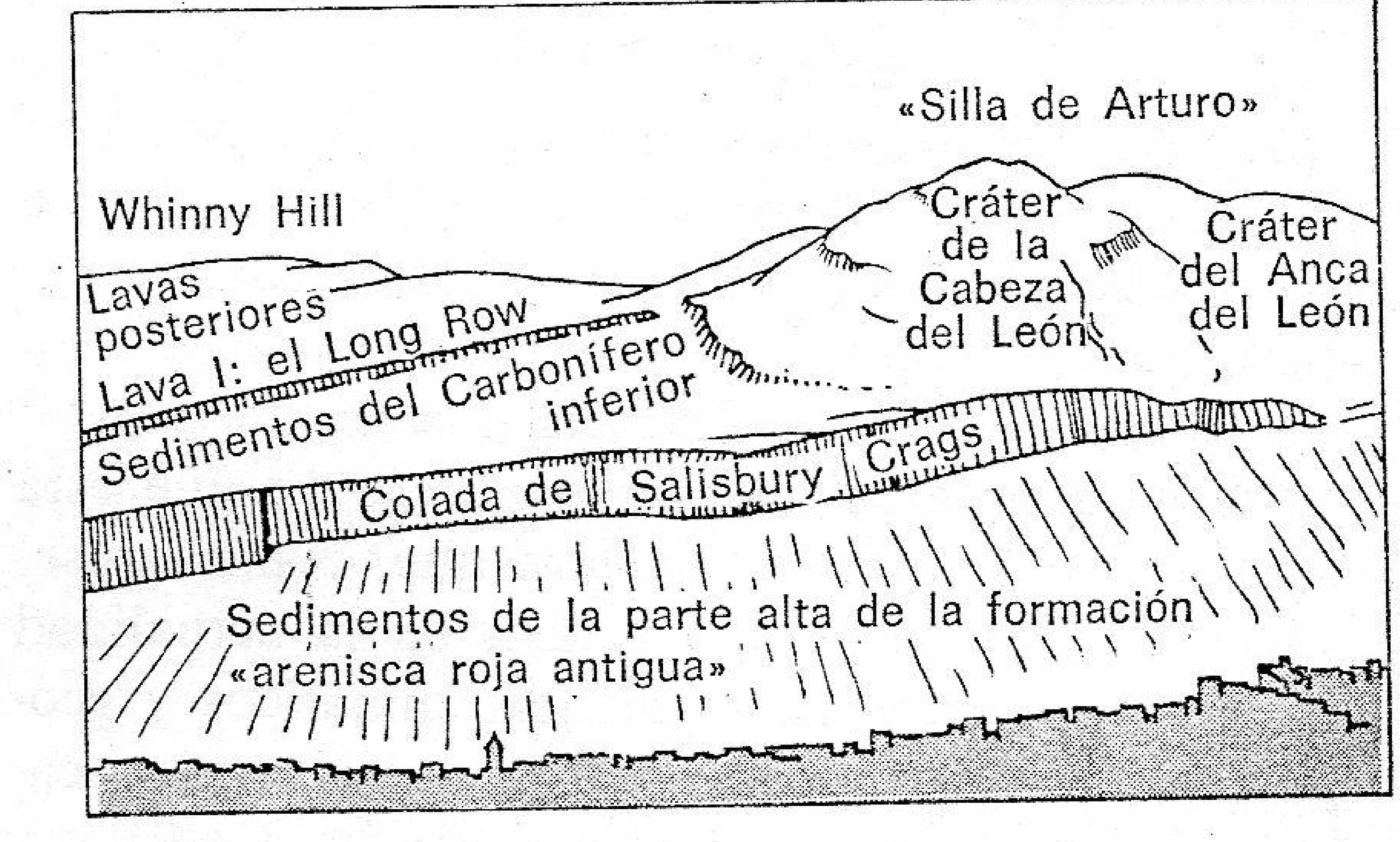
Las claves del pasado

Hasta ahora se ha tratado de las rocas sedimentarias como materiales formados de otros preexistentes por la acción de los procesos geológicos. Las rocas son, además, las páginas del libro de la historia de la tierra, y el principal objetivo de la geología histórica es aprender a descifrar estas páginas y colocarlas en el orden histórico apropiado. El principio fundamental implicado en la interpretación de su significado fue enunciado por primera vez en 1785 por Hutton, cuando declaró que «el presente es la clave del pasado», en el sentido de que «la historia pasada de nuestro globo se debe explicar por lo que se ve que está ocurriendo ahora». Se observa que, como consecuencia de procesos que actúan en la actualidad en tipos concretos de ambientes climáticos y geográficos, resultan unas rocas, o asociaciones características de rocas, de composición y estructura fácilmente reconocibles. Si se observa que rocas similares de una edad geológica más antigua tienen las mismas peculiaridades y asociaciones, se infiere que se formaron por la acción de procesos similares, en ambientes parecidos.

Ya hemos tenido ocasión de aplicar este principio, por simple sentido común. La presencia de corales fósiles o de conchas de otros organismos marinos en una caliza, indica que ésta se depositó en el fondo del mar, y que lo que ahora es tierra alguna vez estuvo bajo las olas. La caliza, gradualmente, puede pasar a ser arcilla, arenisca y conglomerado, tanto lateral como verticalmente. El conglomerado representa una antigua playa y señala la línea de costa, el punto de contacto de tierra y mar. En otras partes, los antiguos flujos de lava representan las erupciones de volcanes antiguos, y en algunos sitios, las salidas y cráteres que fueron activos hace muchos millones de años aún destacan en el paisaje (fig. 7.1). Las acumulaciones de sal gema revelan la existencia en el pasado de mares interiores, que se evaporaron por causa del sol. Las capas de carbón, que son los restos comprimidos de acumulaciones de turba, sugieren la existencia de pantanos y de una vegetación exuberante. Las rocas estriadas y de superficie lisa, asociadas con acumulaciones de arcilla y cantos, son una prueba del paso de glaciares o casquetes de hielo. En cada caso, los caracteres de las formaciones más antiguas se corresponden con los de las rocas que se están formando actualmente.

Incluso el tiempo meteorológico queda registrado en las estructuras de las rocas. Un chubasco de lluvia de poca duración que cae sobre una superficie lisa de sedimento de grano fino, deja su huella bajo la forma de hoyuelos parecidos a minúsculos cráteres, llamados *impresiones de lluvia* (en inglés, «*rain prints*»). En los llanos fangosos de marea o en los llanos de crecida de un río, al secarse y encogerse el fango, se forman las típicas grietas de desecación (fig. 5.5). A veces, antes de que la siguiente marea o crecida vuelva a inundar la zona, las grietas poligonales se rellenan con arena arrastrada por el viento. Entonces, en lugar de cerrarse, pueden quedar permanentemente abiertas. De este modo han podido conservarse estructuras similares en capas antiguas de ori-

Figura 7.1. «Silla de Arturo», Edimburgo, volcán del Carbonífero inferior que fue activo hace más de 300 millones de años. El escarpe de Salisbury Crags es el afloramiento de una colada más tardía. En Whinney Hill se pueden reconocer, por lo menos, 14 flujos de lava, interestratificados en los sedimentos del Carbonífero inferior *(Airwiews Limited)*.



gen análogo (fig. 7.2). Dentro de los límites en que los métodos geológicos pueden aplicarse a la historia de la tierra, estos «fósiles del tiempo» indican que el viento, la lluvia y la acción del sol han estado siendo muy parecidos a como son actualmente. Sin embargo, la distribución de climas en la superficie terrestre ha variado de forma sorprendente.

En Gran Bretaña, el trabajo realizado por glaciares y placas de hielo en tiempos pasados aún está impreso en los paisajes y en las arcillas guijarrosas y otros depósitos, dejados cuando el hielo se fundió. Contrastando con ellos, la arcilla mucho más antigua, por la que pasa el metro subterráneo de Londres, contiene restos de vegetación y conchas y reptiles como los de los trópicos actuales. En las areniscas de períodos aún más antiguos hay evidencias de condiciones desérticas. En otras partes, las vicisitudes del clima son igualmente asombrosas. En la India y en África central y meridional hay pruebas claras de que, mientras Gran Bretaña formaba parte de una región de selvas pantanosas tropicales (la época de la formación del carbón) estas tierras estaban cubiertas por grandes casquetes de hielo, como los actuales de Groenlandia y la Antártida. Sin embargo, en Groenlandia, hay sedimentos que contienen restos de un tipo de vegetación que sólo pudo haber prosperado en un clima cálido. Descubrimientos similares han tenido lugar en varios lugares de la Antártida, a partir del descubrimiento de carbón, junto al polo sur, hecho por el capitán Scott, en 1912.

Podemos volver a fijarnos en algunos de los ejemplos del principio de Hutton, que se pueden



Figura 7.2. Grietas del barro rellenadas, en las arcillitas contemporáneas a la arenisca roja antigua inferior, costa al este de Thurso, costa norte de Escocia *(Instituto de Ciencias Geológicas de Gran Bretaña).*

aplicar a problemas relativos a los movimientos terrestres. En los Alpes, y en muchas otras regiones, incluyendo Gran Bretaña, hay estratos cuya posición ha resultado invertida a causa del plegamiento. Un ejemplo a pequeña escala se ilustra en la figura 3.11, pero puede ocurrir que el pliegue tumbado tenga una escala demasiado grande para que se pueda ver todo. El lector puede preguntarse cómo es posible reconocer tal estructura, de la cual sólo es visible o se ha preservado una parte. Aunque nadie ha presenciado cómo las rocas han invertido su posición al plegarse, el principio de Hutton nos ayuda, al sugerirnos distintas vías para determinar cuál era la base y cuál el techo de un estrato concreto, cuando se depositó.

La estratificación cruzada es uno de los rasgos que, cuando está presente, es más fácil de analizar. La figura 7.3 muestra que, cuando la parte superior de un banco de arena desaparece a causa de la erosión, la estratificación cruzada que se conserva queda truncada abruptamente en su parte superior, mientras que en la base se curva suavemente, en relación con la estratificación principal o con una superficie de erosión anterior. La parte superior truncada y la base original de la capa de estratificación cruzada de una arenisca o una cuarcita se pueden reconocer, pues, clara-

Figura 7.3. Cortes que explican el valor de la estratificación cruzada debida a una corriente («current bedding») para determinar si una capa está en posición normal o está invertida: *(a)* Estructura completa. Después que la parte superior ha sido erosionada hasta AB, se distinguen bien el fondo original y el techo truncado; *(b)* está en posición normal; *(c)* está invertida.

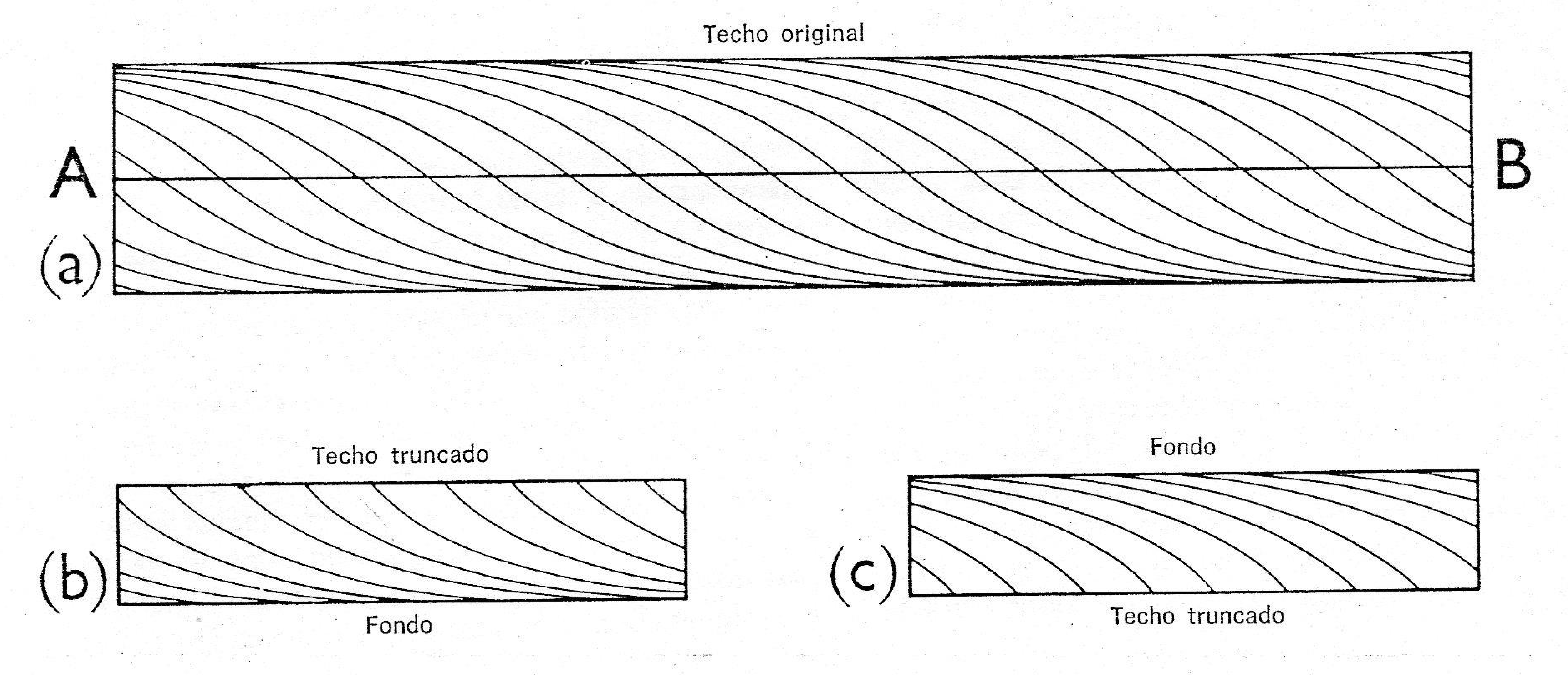




Figura 7.4. Estratificación cruzada debida a una corriente en una cuarcita biotítica metamorfizada (cuarcita Glencoe) en Rudha Cladaich, Loch Leven, al sur de Fort William, oeste de Escocia *(L. Weiss)*.

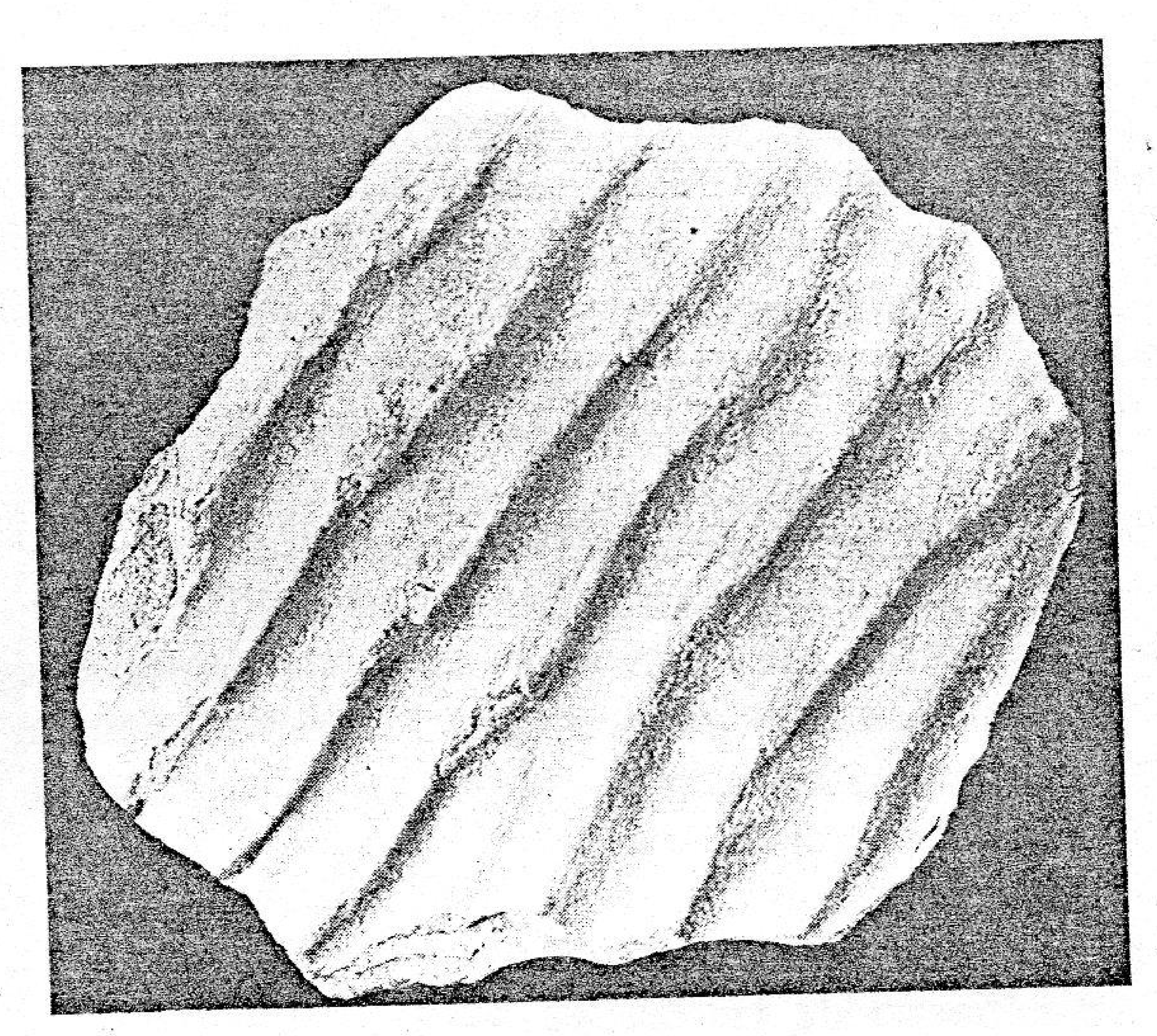


Figura 7.5. Ripple-marks en una capa de arenisca triásica; Scrabo Hill, Co. Down, Irlanda del Norte *(Colección R. Welch, Derechos Museo del Ulster)*.

mente (fig. 7.4). Este criterio fue usado por geólogos irlandeses hace más de un siglo, para demostrar que parte de las areniscas plegadas de la península Dingle, del sudoeste de Irlanda, estaban invertidas.

La estratificación gradada, ilustrada en la página 90, también contiene una clave útil para saber si una capa concreta está, o no, en la posición de formación, especialmente si hay varias de ellas y todas repiten la misma historia. Un ejemplo aislado que no se apoye en otros puede, quizá, tener otra explicación, y su significado no quedaría claro.

Las huellas o rizaduras del oleaje, designadas en el léxico internacional con el nombre inglés de ripple marks, análogas a las que se observan en una playa cuando baja la marea, a menudo están presentes en areniscas antiguas (fig. 7.5). Las arenas del desierto suelen también adquirir un bello aspecto rizado, debido a la acción del viento (fig. 3.4), pero, debido a la propia naturáleza del viento, casi nunca se conservan. Las rizaduras formadas por los movimientos ondulatorios del agua tienen crestas agudas y senos redondeados y, por consiguiente, es fácil reconocer la parte superior y la inferior de cualquier capa de arenisca que las contenga. En las formaciones en que se conservan estas rizaduras y que han sufrido cambios de posición por fuertes plegamientos, se pueden usar las rizaduras para determinar cuál era el techo original de la capa (fig. 7.6).

Desde luego, hay ciertos procesos y rocas a los que no es posible aplicar directamente el princi-

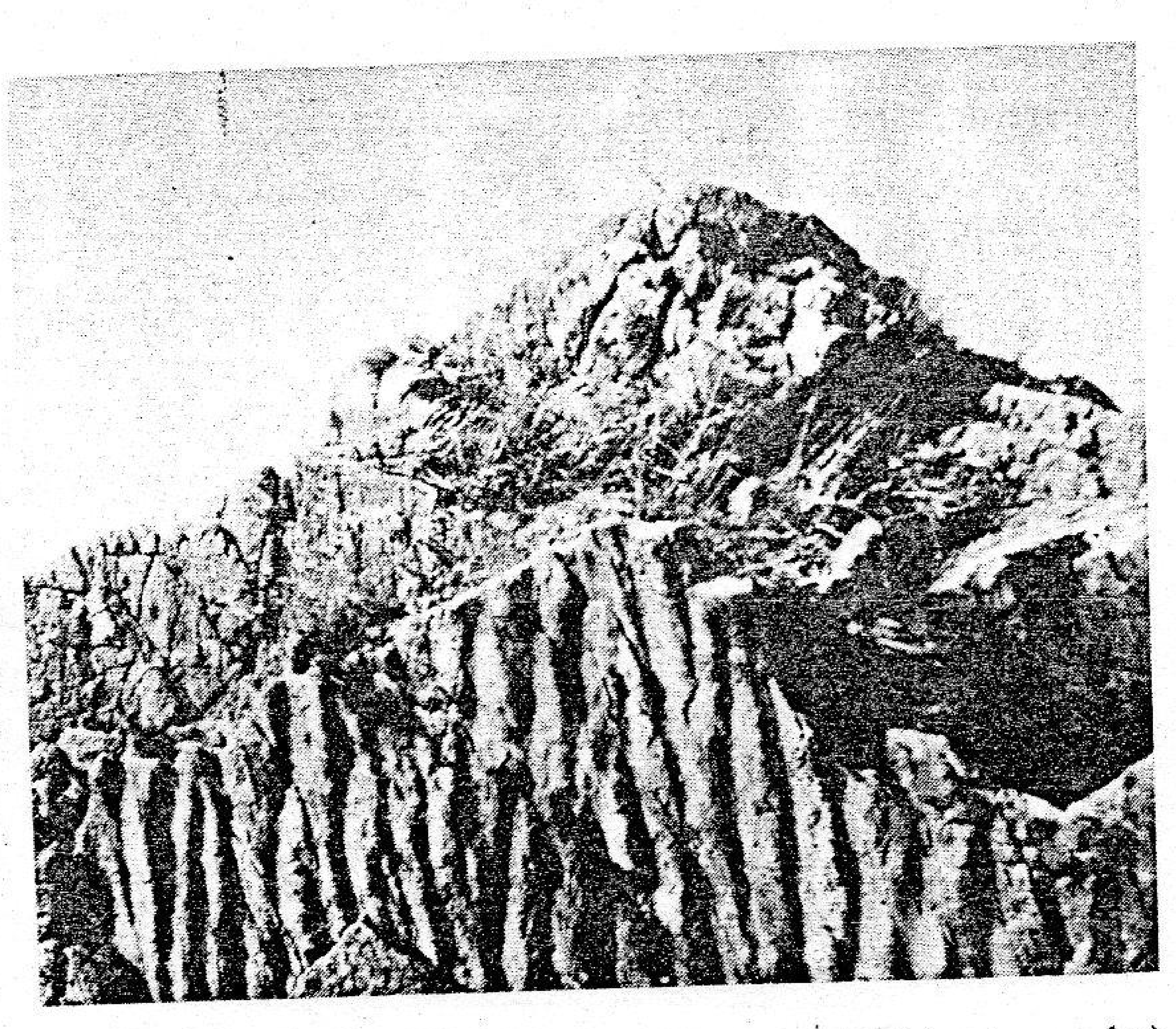


Figura 7.6. Lajas con marcas del oleaje (ripple-marks) del gneis precámbrico de Moine, plegadas y en posición vertical, con su parte inferior mirando al observador. Glasnacardoch, al sur de Mallaig, Highland, costa oeste de Escocia *(G. W. Tyrell)*.

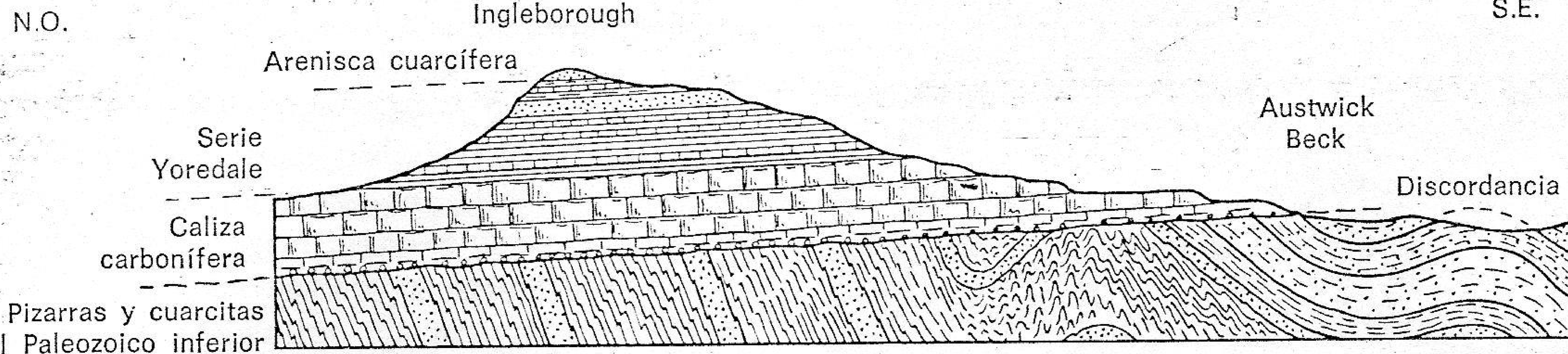


Figura 7.7. Corte geológico a través de Ingleborough y su zócalo, Yorkshire, mostrando la discordancia entre las capas carboníferas, encima, y los estratos del Paleozoico inferior intensamente plegados, debajo. La longitud del corte es de unos 6 km *(Según D. A. Wray)*.

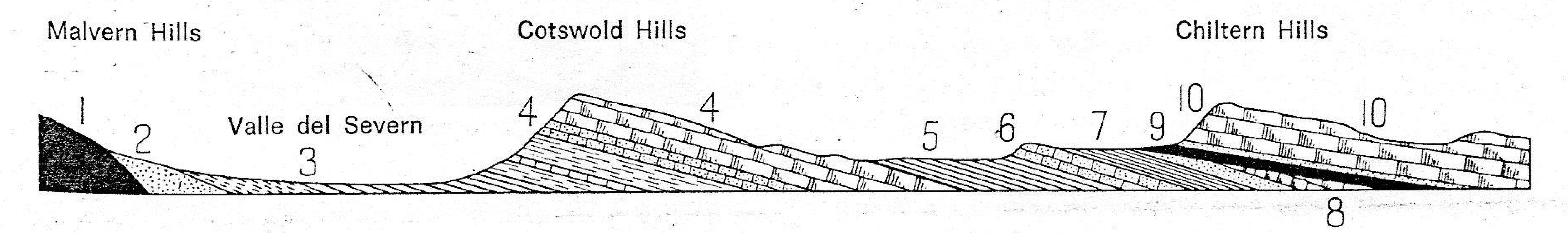
pio de Hutton. No es posible observar granito en vías de formación. Su origen sólo puede inferirse a partir de su textura y estructuras internas; sus relaciones estructurales con las rocas en las que está emplazado; y sus efectos metamórficos sobre las rocas que forman la aureola de contacto, los cuales, como ya hace mucho tiempo observó Goldschmidt, famoso geólogo noruego, son completamente diferentes de los efectos metamórficos producidos por intrusiones de otros tipos de rocas. En tales circunstancias, lo mejor que puede hacerse es sugerir explicaciones hipotéticas que no sean inconsistentes con las evidencias que provee la observación o la experimentación. Con cada nuevo descubrimiento, la clave de Hutton abre nuevas vías para la interpretación del pasado.

Sucesión de los estratos

No es tarea fácil la de colocar en su adecuado orden cronológico todas las páginas dispersas de la historia de la tierra. Las rocas estratificadas se acumularon capa sobre capa, y donde puede verse una sucesión continua de capas dispuestas en planos paralelos, como en las laderas de Ingleborough (fig. 7.7), donde no ha habido inversión de capas por pliegues tumbados ni por cabalgamientos, es obvio que las capas inferiores son las más antiguas y las superiores, las más modernas. El Gran Cañón del Colorado (fig. 1.6) presenta una de las más bellas sucesiones visibles del mundo. Sin embargo, allí donde una serie de capas se encuentra inclinada, como entre Gales y Londres, los bordes desgastados de las diversas capas sucesivas afloran en superficie y se hace posible seguir una larga secuencia de capas en su orden apropiado (fig. 7.8).

Alrededor de Ingleborough la gran plataforma calcárea de los Peninos puede seguirse a lo largo de una vasta extensión de terreno, pero donde los ríos la han socavado hasta su base, se ve que la caliza yace sobre los bordes levantados de areniscas, grauvacas y pizarras arcillosas fuertemente plegadas, como se observa en las figuras 7.7 y 7.9. Es evidente que, aquí, hay una interrupción brusca en la continuidad del registro, interrupción que puede implicar un intervalo muy largo de tiempo geológico. La representación física de la parte del registro que falta es una vieja super-

Figura 7.8. Corte geológico desde Malvern Hills a Chiltern Hills. 1, Precámbrico y Cámbrico; 2, Triásico; 3-8, Jurásico (3, Lías; 4, Ooolítico inferior; 5, Arcilla de Oxford; 6, Coralino; 7, Arcilla de Kimmeridge; 8, Capas de Portland); 9-10, Cretácico (9, Gault y arena verde superior; 10, Creta).



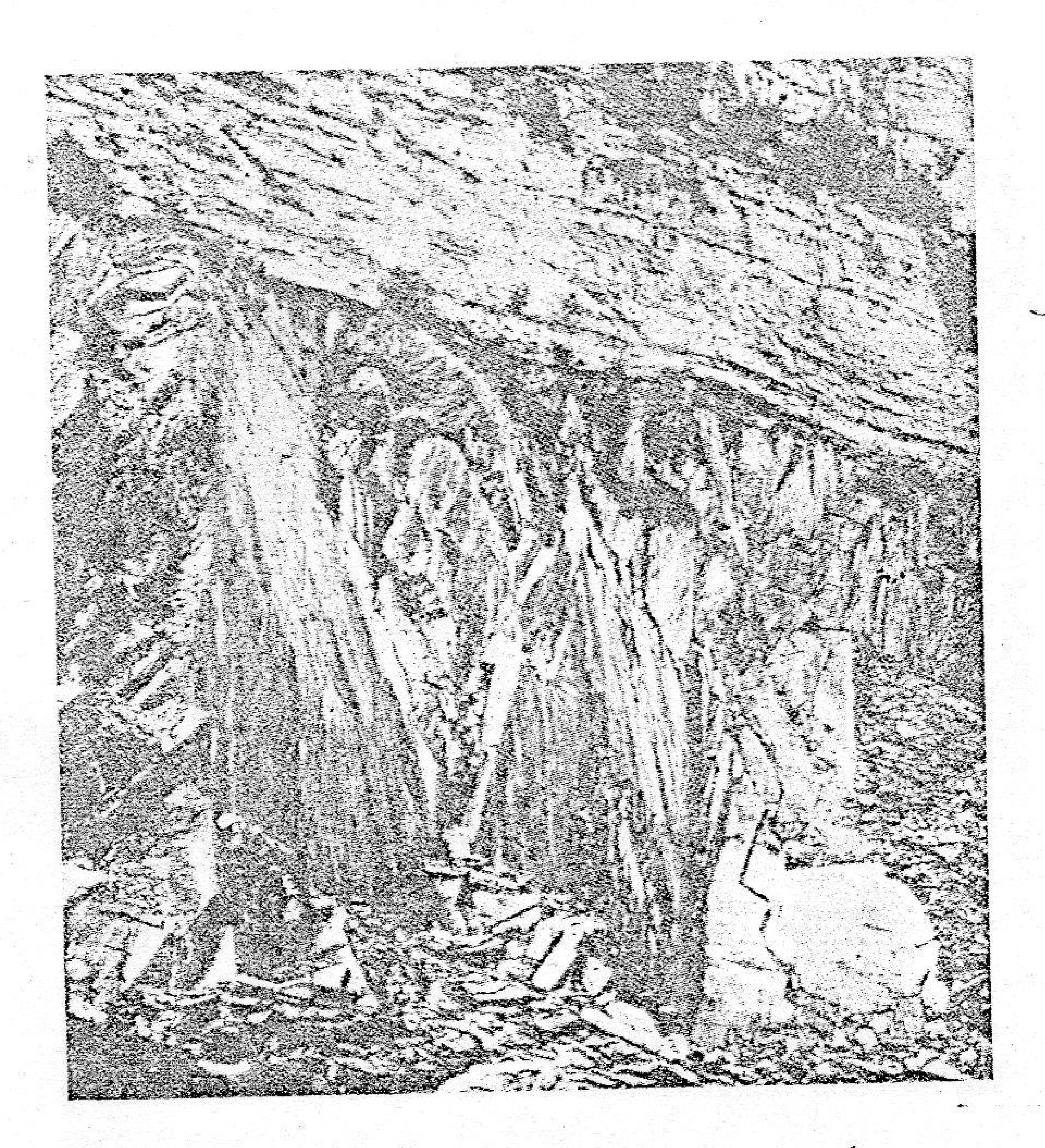


Figura 7.9. Caliza carbonífera discordante sobre una superficie de erosión desarrollada sobre pizarras silúricas muy inclinadas, cantera Arco Wood, 6 km al norte de Settle, North Yorkshire *(S. H. Reynolds).*

ficie de erosión, que se denomina *discordancia.* Las capas en secuencia continua situadas sobre la interrupción se dice que entre sí son *concordantes.* La más baja de las concordantes es *discordante* sobre las rocas infrayacentes. Después de que éstas se depositaran en el fondo del mar, constituyendo sedimentos nuevos, fueron plegadas y levantadas en el núcleo de una antigua cordillera, una serie de cadenas montañosas que se extendían a lo largo de Noruega y parte de las islas Británicas. Como gran parte de Escocia está formada por estas rocas, duras y contorsionadas, los geólogos de todo el mundo la denominan Cordillera Caledoniana, o más técnicamente, cinturón *orogénico* caledoniano (del griego *oros,* montaña; véase, pág. 116). Por denudación, las areniscas y pizarras plegadas fueron quedando al descubierto y, finalmente, fueron reducidas a una llanura ondulada. La superficie arrasada fue sumergida bajo el mar, constituyendo el fondo sobre el que se depositaron las capas horizontales de las calizas de los Penninos. Las sucesivas etapas de los acontecimientos que se produjeron durante el lapso representado por la discordancia se indican en los diagramas de la figura 7.10.

Otro tipo de discordancia está representada por la Esfinge (fig. 2.1), esculpida en un montículo de caliza que sobresale abruptamente sobre la superficie de un paisaje excavado en las rocas subyacentes, paisaje que, en su mayor parte, no puede observarse porque está enterrado, pero del que los picos más altos aún sobresalen de las arenas circundantes. En Charnwood Forest (Leicestershire) hay una discordancia similar del tipo paisaje-enterrado, el cual se ha hecho visible gracias a la erosión actual y a la explotación de canteras. Aquí, las arenas del desierto están representadas por margas y areniscas triásicas —rocas características del llano Midland de Inglaterra— depositadas cuando las condiciones desérticas afectaban a gran parte de Europa y Norteamérica. Los depósitos desérticos fueron recubriendo las laderas de una antigua cadena montañosa y, eventualmente, llegaron a recubrirla. Las pequeñas peñas

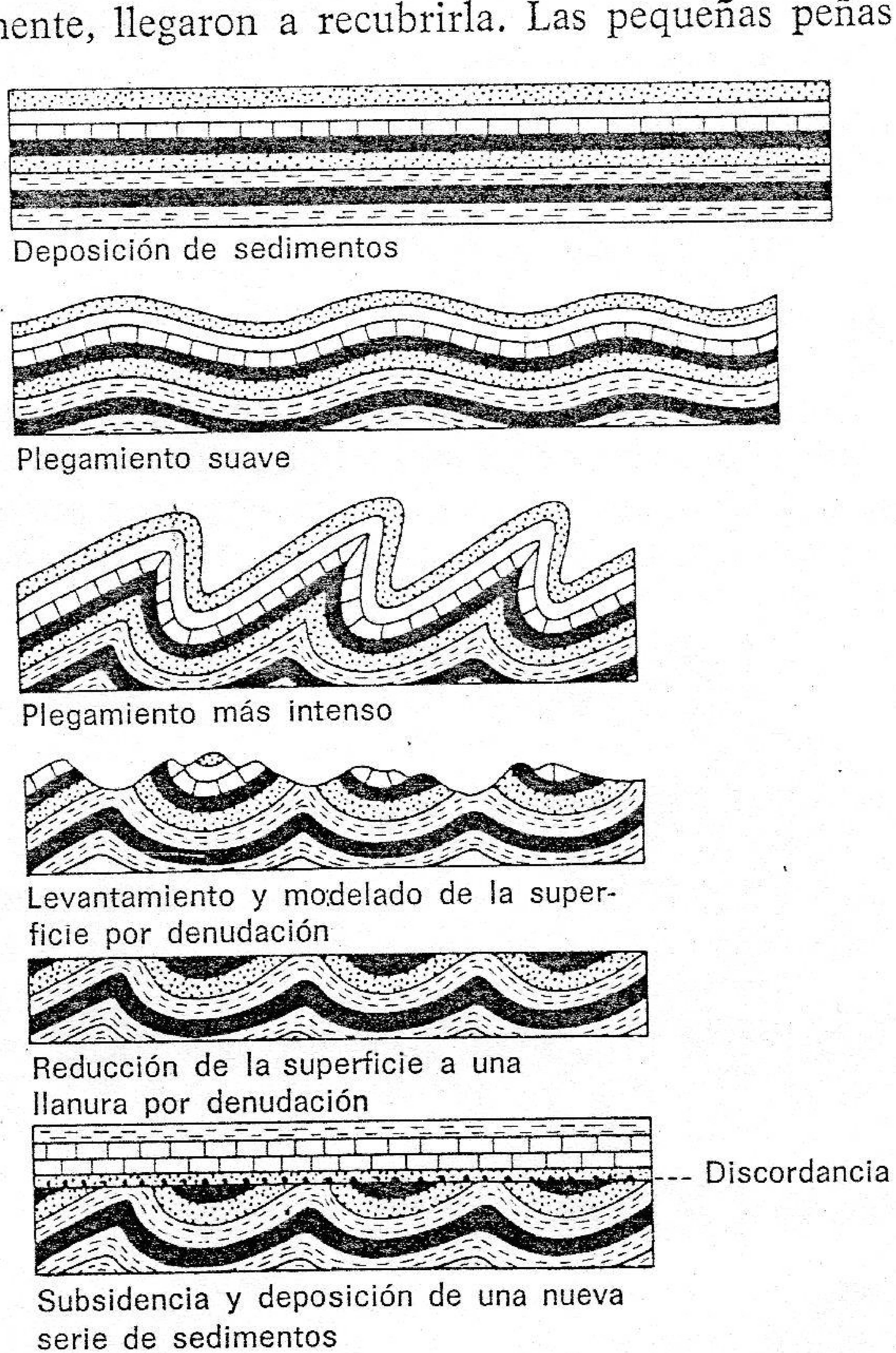


Figura 7.10. Etapas sucesivas del desarrollo de una discordancia.

cortadas y de fuerte pendiente de Charnwood Forest, que se elevan abruptamente sobre la llanura, son sólo los picos de las más altas sierras, que ahora están siendo exhumadas.

En términos generales, toda discordancia es una superficie de erosión de uno u otro tipo, y representa un lapso de tiempo durante el cual la denudación (incluyendo la acción erosiva del mar) en aquel lugar fue mayor que la deposición. Si acaso se depositaron sedimentos en el intervalo, posteriormente debieron ser barridos. En otros lugares, es probable que esta laguna de tiempo esté representada por estratos (fig. 7.11), y el siguiente problema a tratar es cómo reconocer estos estratos si los encontramos.

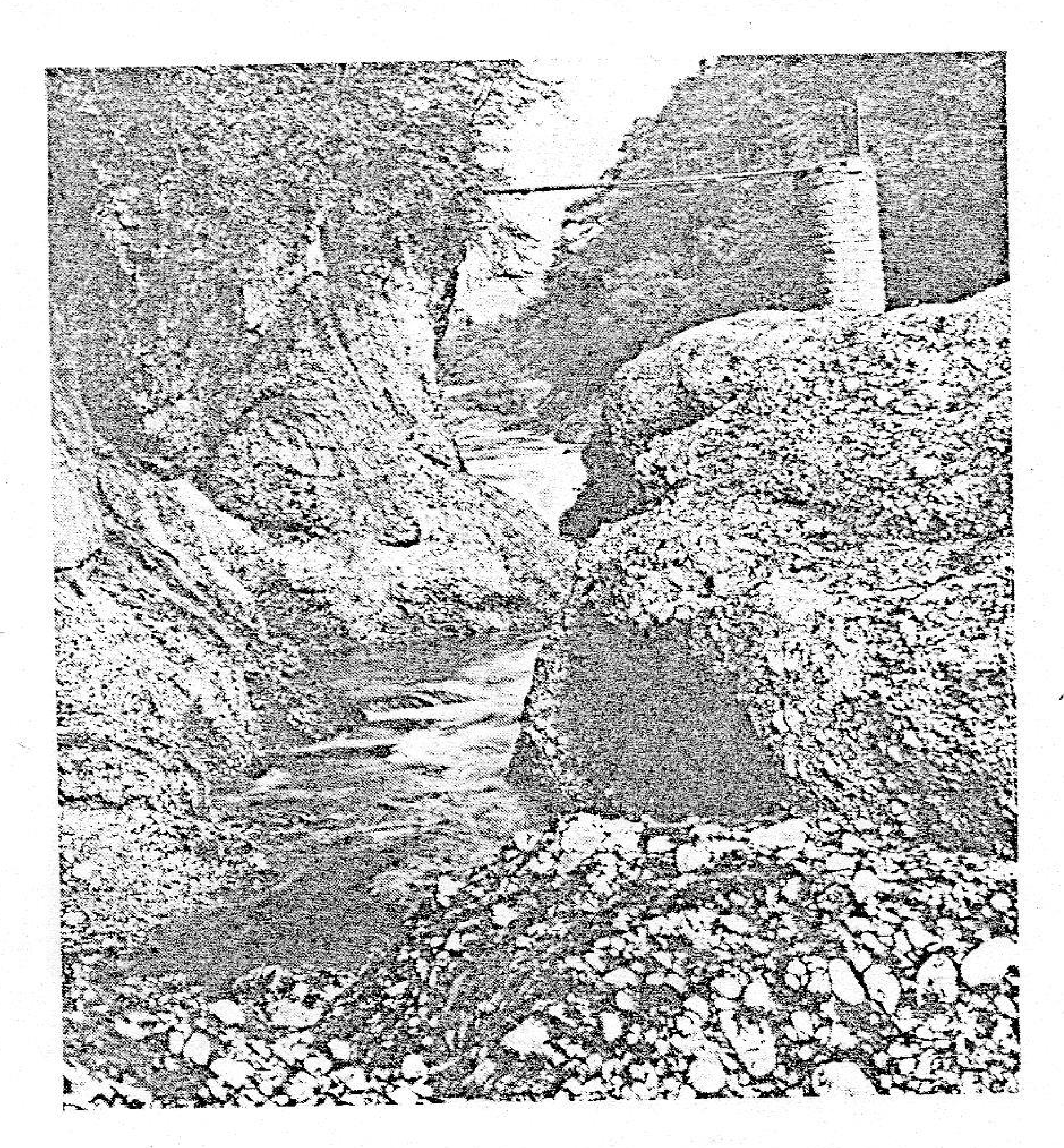


Figura 7.11. Conglomerado contemporáneo a la «arenisca roja antigua» depositado durante parte del intervalo de tiempo silúrico-carbonífero correspondiente a la Figura 7.9 y allí no representado por sedimentos. Garganta del North Esk, límite Grampianos/Tayside *(Instituto de Ciencias Geológicas de Gran Bretaña).*

Significado de los fósiles

La resolución de este problema, que es parte del problema general de determinar las edades relativas de los estratos, fue la gran realización de William Smith, nacido en Oxford en 1769. Ya desde muy joven fue topógrafo y, más tarde, se convirtió en lo que actualmente llamaríamos ingeniero-geólogo ya que, profesionalmente, era un experto en canales, minas de carbón, suministros de agua y erosión costera. De niño había coleccionado fósiles procedentes de los estratos muy fosilíferos cercanos a su casa y, posteriormente, formó colecciones separadas de cada una de las formaciones sedimentarias ilustradas en la figura 7.8. Descubrió que, mientras algunos de los fósiles del conjunto obtenido en una determinada capa podían ser los mismos que los de las capas infra o suprayacentes, otros eran completamente distintos. De hecho, cada formación tenía sus propios fósiles peculiares. De este modo, fue capaz de distinguir las diferentes formaciones arcillosas que se indican en la figura 7.8 (desde el Lías al Gault) por medio de los fósiles que encontró en ellas. En 1799, cuando su profesión le había llevado a trabajar más lejos, había examinado todas las formaciones desde las carboníferas de Coal Measures hasta la Creta, y en todas partes encontró los mismos tipos de fósiles en las mismas formaciones, y diferentes series de fósiles en formaciones diferentes. Smith había descubierto que cada conjunto especial de fósiles, que representaba los organismos que vivieron durante cierto intervalo de tiempo, nunca se encontraban antes ni tampoco después. La edad relativa, o posición en la secuencia temporal de una formación podía, pues, determinarse por medio de sus fósiles característicos.

En Francia, Cuvier (1769-1832) y Brongniart (1770-1847) descubrieron lo mismo coleccionando fósiles de las formaciones próximas a París, que son la continuación hacia arriba de la secuencia de estratos de la Creta. En 1808, ya fue posible correlacionar las formaciones inglesas más antiguas con las francesas subyacentes a la Creta; y, de modo análogo, correlacionar las formaciones más jóvenes de Francia con las que cubren la Creta en Inglaterra.

El principio de la identificación de la edad de los estratos por sus fósiles está firmemente establecido en todo el mundo. Por ejemplo, se acepta que estratos de Europa y de Australia son prácticamente contemporáneos si contienen series análogas de fósiles. El tiempo requerido para que una especie dada migre de una región a otra, en la

práctica, no plantea dificultades, porque los intervalos representados por las más pequeñas divisiones del tiempo geológico se extienden a centenares de miles y hasta millones de años. En comparación, el tiempo requerido para una migración, incluso mundial, es relativamente corto. En todas partes, la secuencia de fósiles revela un gradual despliegue de diferentes formas de vida y, así, llega a ser posible seccionar el conjunto de las rocas estratificadas fosilíferas en unidades o divisiones apropiadas, cada una de ellas con sus fósiles característicos y su posición cronológica definida.

La escala de tiempo estratigráfica

Como el libro de la historia de la tierra es inmensamente extenso, se ha creído conveniente dividir y subdividir su contenido del mismo modo que un libro extenso se divide en volúmenes, capítulos, párrafos y oraciones. Si el libro se lee consecutivamente, entonces el orden de las oraciones, etcétera, representa un orden cronológico. Para apoyar la estratigrafía en bases firmes, se ha creído conveniente y esclarecedor emplear dos conjuntos de términos para cada tipo de unidad: uno para el intervalo de tiempo, y el otro para los estratos que se depositaron durante estos intervalos de tiempo:

Unidades del tiempo geológico			
Edad	Época	Período	Era
Unidades rocosas del tiempo estratigráfico correspondiente			
Piso	Serie	Sistema	(Grupo)
Ejemplo			
Portlandiense	Jurásico superior	Jurásico	Mesozoico

Debido a la abundancia y variedad de los fósiles que caracterizan los estratos jurásicos, el esquema indicado se ha aplicado con éxito al Período y Sistema jurásicos. El Sistema se divide en tres Series, Inferior, Medio y Superior, cada una de las cuales, a su vez, se divide en cuatro Pisos. En el ejemplo dado, el Piso Portlandiense toma su nombre de la famosa caliza Portland. Se debe hacer resaltar que términos como *Jurásico* suelen usarse como nombres en lugar de como adjetivos. Por ejemplo, se habla de la caliza Portland como perteneciente al Jurásico (Sistema); o de ciertos ammonites que crecieron durante el Jurásico (Período).

Los nombres de Eras, Períodos y Sistemas (tal como se presentan en la pág. 114) y de algunas de las unidades menores, son generalmente aceptados; pero la mayoría de los nombres dados a las unidades menores sólo tienen una aplicación limitada y varían de un país a otro. Las principales dificultades para llegar a un acuerdo general deseable son (*a*), que el geólogo de campo no cartografía «pisos» sino «formaciones»; y (*b*), que las formaciones que cartografía pueden no contener los fósiles necesarios para determinar su edad exacta.

Una *formación* es una capa o conjunto de capas de límites superior e inferior bien definidos, que pueden seguirse y cartografiarse en una extensa zona. De hecho, es sólo una *unidad rocosa;* y sólo cuando contiene los fósiles apropiados es posible decir si representa una Edad concreta (o sea, una subdivisión específica del tiempo geológico, definida por los restos de organismos que entonces vivían), o parte de una Edad, o más de una Edad. En Gran Bretaña, ha sido una práctica común usar el término «serie» como vocablo ordinario, y hablar de una sucesión de formaciones que tienen alguna característica común como de una «serie». Según la acepción más técnica del término, que se escribe «Serie», se emplea para estratos depositados en cualquier lugar del mundo, durante un intervalo concreto del tiempo geológico, llamado Época.

Como ejemplo del uso no técnico del término «serie» podemos considerar los estratos del Sistema Carbonífero. Cuando William Smith estableció por primera vez la secuencia de estratos, a las capas que contienen las más importantes vetas de carbón de Inglaterra los mineros las denominaban Coal Measures. Una veta de carbón es una formación, asociada a otras formaciones de pizarra y arenisca, y era natural agrupar todo el conjunto como una serie, cuyo nombre obvio era Coal Measures. Bajo ella hay otra serie de areniscas masivas, famosas desde hace mucho tiempo por su empleo en la fabricación de piedras de

molino y piedras de afilar. Los canteros llamaron a esta serie Millstone Grit. Bajo ella, hay formaciones de calizas masivas de los Penninos, originalmente llamadas la Mountain Limestone, pero actualmente conocidas colectivamente como la caliza carbonífera. Al seguirse la serie calcárea hacia el norte, a través de Northumberland, hasta Escocia, se encontró que pasaba a ser un conjunto de capas cada vez más delgadas y numerosas, separadas por estratos intercalados que incluían vetas de carbón. A las tres series juntas entonces se las llamó Sistema Carbonífero, expresión formada de las palabras latinas que significan «contiene carbón». Se debe agregar que en Norteamérica, el Carbonífero se divide en dos Sistemas y Períodos: el *Pennsylvaniense,* que incluye la Coal Measures, y el *Mississippiense,* que incluye la Caliza Carbonífera y sus equivalentes.

Las tablas de las páginas 114-115 muestran el esquema general de clasificación por Eras y Períodos que fue elaborado por los promotores de la geología del siglo pasado. Se observará que las Eras tienen nombres que, a grandes rasgos, expresan las relaciones de las formas de vida que entonces florecían con las de la actualidad. Subyacentes a las capas paleozoicas más antiguas, en todos los continentes hay grupos sumamente potentes de estratos sedimentarios que, hacia abajo, pasan a ser (o se encuentran discordantes sobre) rocas cristalinas, metamórficas e ígneas que ocupan zonas muy extensas.

En estas rocas antiguas sólo se han encontrado formas de vida raras y confusas en los estratos menos alterados, que no tienen valor para definir sistemas de amplitud mundial. El único nombre colectivo que se les da es el de *Precámbrico.* Como la clasificación en Sistemas y Períodos se basa en los fósiles, no se puede extender al Precámbrico. Sin embargo, con el desarrollo de los métodos de datación de rocas en edad absoluta (véase página 265), está siendo posible reconocer algunos Sistemas Precámbricos formados por rocas que pertenecen a Períodos de aproximadamente la misma duración que los de las rocas fosilíferas, o sea, unos 50 a 100 millones de años. Hasta ahora, términos como «formación», «serie» y «sistema» se han estado usando indiscriminadamente para unidades rocosas precámbricas de rangos muy diferentes. La tendencia actual es la de usar el término *Grupo* para todas las formaciones pertenecientes a un cinturón orogénico precámbrico importante. La edad de un Grupo se está viendo que corresponde a un intervalo de tiempo de unos pocos millones de años, es decir, a una Era de varios Períodos.

Se debe observar que la duración del tiempo representado por las rocas precámbricas que ya se han datado —y probablemente las hay más antiguas por descubrir— es más de cinco veces más larga que los 600 millones de años que han transcurrido desde que apareció, por vez primera, la gran variedad de formas vivas, cuyos restos se encuentran en las rocas sedimentarias del Sistema Cámbrico.

Movimientos corticales y la escala de tiempo geológica

Ahora podemos volver a tratar los problemas planteados en la página 109 sobre cómo reconocer los estratos correspondientes a la laguna de tiempo implicada en la discordancia ilustrada en las figuras 7.7 y 7.9. Por la evidencia de los fósiles se sabe que, bajo los Penninos, y también alrededor del distrito English Lake (fig. 19.9), las calizas carboníferas y los sedimentos asociados yacen discordantes sobre los bordes levantados de capas plegadas de edad ordovícica y silúrica. La laguna de tiempo es, por lo tanto, todo el período Devónico, algo del Carbonífero inferior, que puede no estar representado localmente y, posiblemente, parte del Silúrico superior. En varios momentos y lugares, durante este largo intervalo, se depositaron los conglomerados (fig. 7.12) y las areniscas llamadas la Old Red Sandstone, principalmente en una serie de depresiones profundas, a veces ocupadas por lagos, situadas entre las altas cadenas montañosas del cinturón orogénico caledoniano. En distintos lugares de Escocia, la propia «Old Red» se encuentra discordante sobre una superficie erosionada de rocas más antiguas que han sido intensamente plegadas durante la orogenia caledoniana (fig. 7.12). En la región británica es evidente que la formación de montañas caledonianas debe haber tenido su momento álgido a fines del Silúrico o a principios del Devónico.

La figura 7.12 ilustra la conocida discordancia, expuesta en Siccar Point, a la que Hutton hizo famosa no sólo por descubrirla sino porque habiendo ya supuesto su existencia organizó una expe-

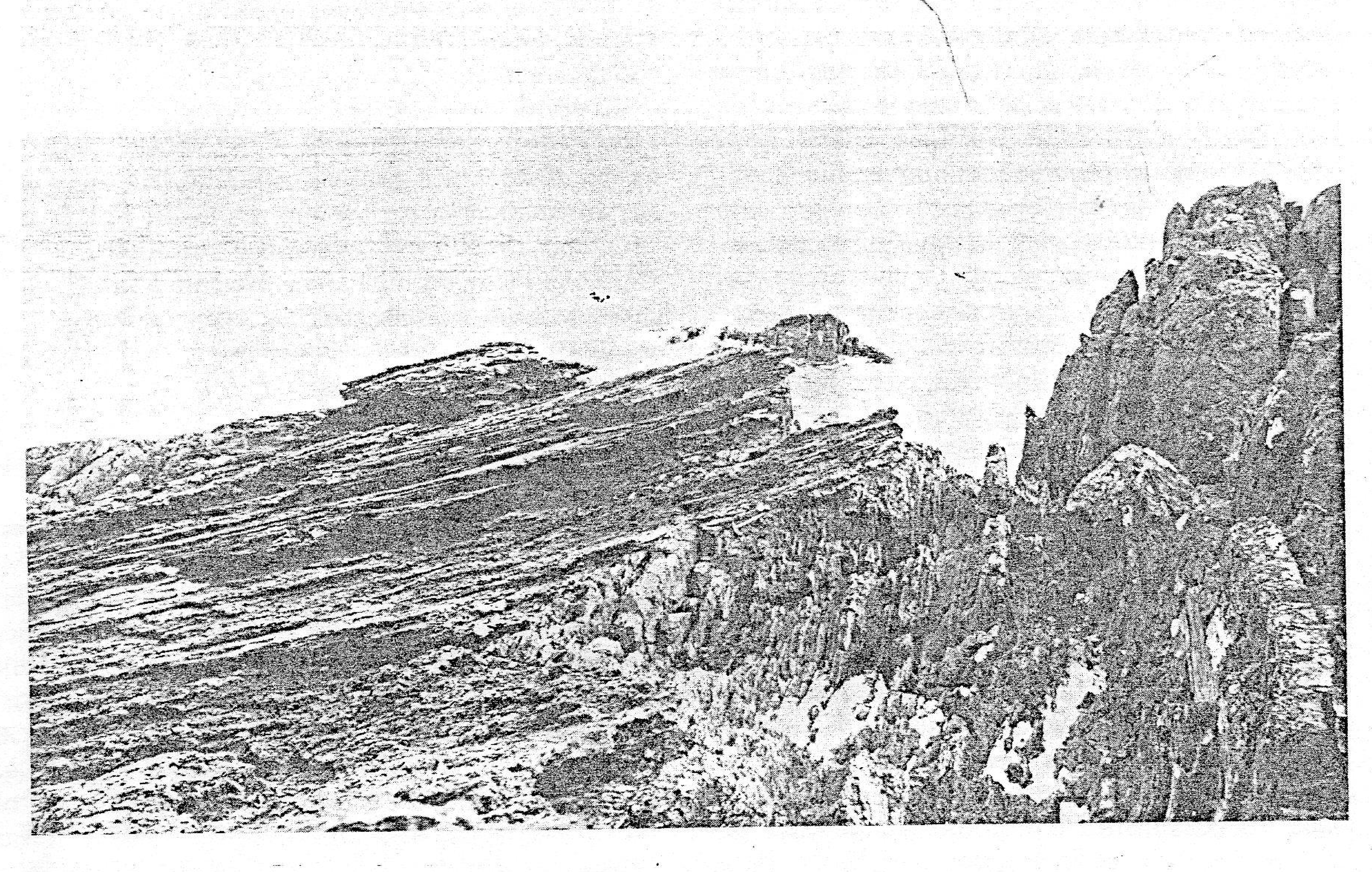


Figura 7.12. Arenisca roja antigua superior discordante sobre capas verticales de arcillitas pizarrosas y grauvacas silúricas en Siccar Point, Cockburnspath, Borders, Escocia *(Instituto de Ciencias Geológicas de Gran Bretaña).*

dición especial por barco, con la esperanzada confianza de descubrirla. Bajo la discordancia, descubrió lo que llamó «las ruinas de un mundo anterior», un mundo de un tiempo tan remoto que sólo lo podía describir como «inconcebiblemente largo»; un mundo desaparecido que, después de pasar por etapas de paisajes montañosos, había sido arrasado hasta una superficie de rocas verticalizadas como las que se pueden ver bajo la Old Red Sandstone en Siccar Point. Hutton había comprendido claramente que «una masa de tierra es arrasada mientras los productos de disgregación aportan los materiales para que se forme otra nueva». Constató que la destrucción por la erosión de una tierra vieja, y la construcción de una nueva por el levantamiento de los sedimentos resultantes (endurecidos y verticalizados y en algunas zonas invadidos por granito), implicaba la existencia, en la tierra, de un agente suficientemente potente para realizarlo. Lo identificó como «calor subterráneo». A los efectos del calor interno de la tierra adscribió: (*a*) el levantamiento general (expansión); (*b*) el endurecimiento y cambios minerales sufridos por los sedimentos (metamorfismo); (*c*) la formación del granito y su forzada intrusión hacia arriba (expansión localizada adicional); y (*d*) la basculación hacia arriba y la dislocación de los sedimentos en los flancos de los granitos intrusivos.

La genialidad de Hutton está en su demostración de que la tierra es un planeta térmica y dinámicamente activo, tanto interna como externamente; y que se puede considerar la historia de la tierra en términos de una sucesión de ciclos imbricados. Los últimos estadios de un ciclo necesariamente implican los iniciales del ciclo siguiente. Hutton lo expresaba así: «Esta tierra, como el cuerpo de un animal, se desgasta al mismo tiempo que se reforma... Así, por una parte se destruye, pero por otra se renueva».

Los largos cinturones de rocas plegadas que representan los distintos ciclos se describen como cinturones *orogénicos* para hacer resaltar su relación con los sistemas de cordilleras pasados o presentes. La formación de montañas por medio de plegamiento y levantamiento —en el sentido puramente estructural o tectónico, sin hacer referencia al desarrollo de altos picos y profundos valles por efecto de la erosión— se llama *orogénesis.* La suma de los cambios estructurales que se producen en el período de formación de montañas se llama una *orogenia* o una *revolución orogénica.*

orogenesis: formación de montañas x 1/2 plegamiento y levantamiento — en sentido puramente estructural o tectónico

Los movimientos terrestres, por los cuales extensas regiones son elevadas o hundidas sin apenas sufrir plegamiento, exceptuando ondulaciones de gran radio de curvatura, se distinguen como *epirogénesis* (del griego *epeiros,* tierra, continente). De los movimientos epirogénicos de elevación resultan altiplanos y mesetas. Algunas regiones hundidas, como el mar Negro, implican más que una simple depresión epirogénica: posiblemente adelgazamiento o incluso fracturación y separación de partes de la corteza.

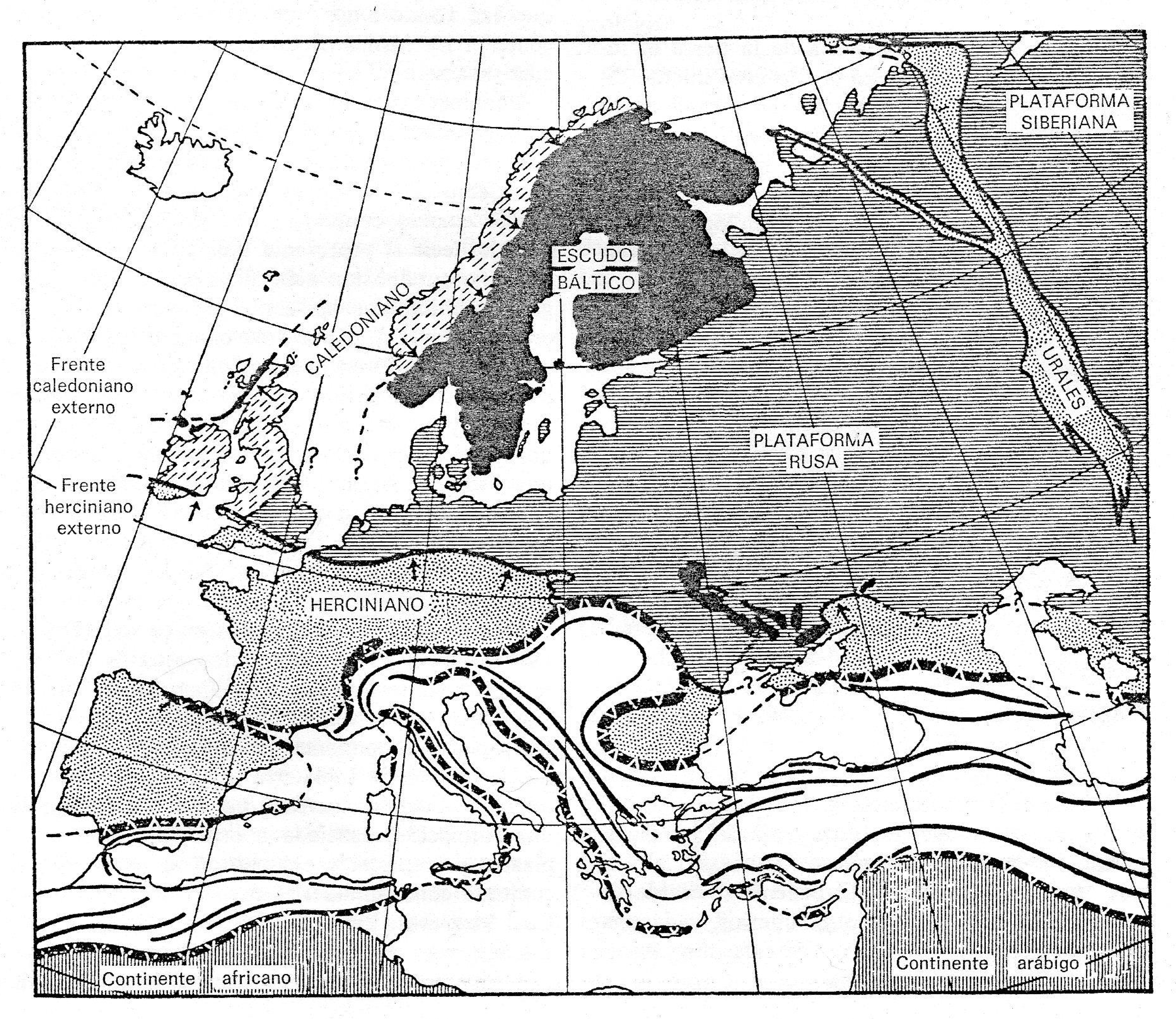


Figura 7.13. Mapa tectónico de Europa. El cinturón orogénico alpino está señalado por líneas negras gruesas con puntas de flecha blancas que indican la vergencia de las fallas inversas y cabalgamientos hacia los continentes.

Eras	Períodos y Sistemas	Etimología de los nombres	
	CUATERNARIO		
	Reciente *u* Holoceno	*Holos* = completo	
	Glacial *o* Pleistoceno	*Pleiston* = el más	
	TERCIARIO		
	Plioceno	*Pleion* = más	
CENOZOICO	Mioceno	*Meion* = menos (o sea, menos que el Plioceno)	«ceno» de *Kainos* = reciente
Kainos o *Cènos* = reciente	Oligoceno	*Oligos* = poco	
Zoe = *vida* (vida reciente)	Eoceno	*Eos* = amanecer, comienzo	
	Paleoceno	*Palaios* = viejo	
	Los anteriores términos comparativos se refieren a la proporción de conchas marinas recientes entre los fósiles.		
	CRETÁCICO	*Creta* = creta	
	JURÁSICO	*Jura* (montañas del)	
MESOZOICO	TRIÁSICO	*Tres* (subdivisiones en Alemania	
Mesos = medio (vida del tiempo intermedio)	Arenisca roja moderna = areniscas de ambiente desértico del Triásico y parte del Pérmico.		
	PALEOZOICO SUPERIOR		
	PÉRMICO	*Permia* = antiguo reino situado entre los Urales y el Volga	
PALEOZOICO	CARBONÍFERO	*Carbón* (yacimientos de)	
Palaios = antiguo (vida antigua)	DEVÓNICO	*Devon* (condado al sur de Inglaterra, donde existen sedimentos marinos)	
	Arenisca roja antigua = sedimentos continentales del período Devónico.		
	PALEOZOICO INFERIOR		
	SILÚRICO	*Silures,* tribu celta de la costa de Gales	
	ORDOVÍCICO	*Ordovices,* tribu celta del norte de Gales	
	CÁMBRICO	*Cambria,* nombre romano del País de Gales	
	ERA PRECÁMBRICA: descrita inicialmente como		
	PROTEROZOICO	*Proteros* = el primero	
	ARQUEOZOICO o	*Archaeos* = arcaico	
	EOZOICO	*Eos* = amanecer, comienzo	
	El término ARCAICO se refiere a las rocas cristalinas precámbricas conocidas que sean las más antiguas de una región dada, y no implica edad.		

Vida característica de los periodos geológicos

Reciente	Hombre moderno
Pleistoceno	Hombre de la edad de piedra
Plioceno	Gran variedad de mamíferos Elefantes en muchas zonas
Mioceno	Gran desarrollo de plantas con flores Perros y osos ancestrales
Oligoceno	Cerdos y monos ancestrales
Eoceno Paleoceno	Caballos ancestrales, aparecen elefantes, bueyes y vacas
Cretácico	Extinción de Dinosauros y Ammonites Empiezan a aparecer mamíferos y plantas con flores
Jurásico	Abundantes Dinosaurios y Ammonites Aparecen las primeras aves y mamíferos
Triásico	Aparecen los Dinosaurios y los reptiles voladores Primeros corales de tipo moderno
Pérmico	Florecimiento de reptiles y anfibios Aparecen las coníferas y los escarabajos
Carbonífero	Bosques que producen carbón Primeros reptiles e insectos con alas
Devónico	Primeros anfibios y Ammonites Primeros árboles y arañas Auge de los peces
Silúrico	Primeras plantas con esporas Primeros arrecifes coralinos conocidos
Ordovícico	Primeros vertebrados con aspecto de pez Abundantes Trilobites y Graptolites
Cámbrico	Trilobites, Graptolites, Braquiópodos, Moluscos Crinoideos, Radiolarios, Foraminíferos Primera aparición de fósiles en abundancia
Precámbrico tardío	Escasos restos de invertebrados primitivos esponjas, gusanos, algas, bacterias
Precámbrico inicial	Algas y bacterias raras que llegan hasta unos 3000 millones de años y constituyen las más antiguas trazas de vida conocidas

Los sedimentos marinos antiguos, tan difundidos por otdas partes, que actualmente recubren zonas extensas en tierra, registran claramente los fluctuantes cambios de nivel entre tierra y mar. Un Período geológico se caracteriza por una o más invasiones de la tierra por el mar, durante las cuales se depositaron las capas marinas del Sistema concreto. Cada invasión se puede dividir en (*a*) una fase de avance, en la que el mar inunda la tierra; (*b*) la fase culminante de plegamiento máximo de tierras; a la que sigue (*c*) la fase de retroceso, durante la cual se retira el mar. En el transcurso de una era o ciclo mayor, las tierras pueden subir y bajar muchas veces respecto al nivel del mar.

Cada revolución u orogenia menor queda registrada por el plegamiento o la inclinación de los estratos ya depositados y por la presencia de una discordancia entre estos estratos ya depositados y por la presencia de una discordancia entre estos estratos y los sedimentos inmediatamente suprayacentes. La edad geológica del plegamiento está comprendida entre la edad de las capas más viejas, situadas sobre la discordancia, y la de las capas más jóvenes, que están bajo ella. Aplicando este razonamiento, sólo las orogenias de los últimos tres ciclos mayores de Europa se pueden datar relativamente. Se podría pensar que una Era geológica se puede definir en términos de acontecimientos físicos, o sea, como un ciclo que consta de varios períodos de sedimentación junto con la orogenia terminal. Pero una definición de este tipo sólo se podría aplicar a ciertas regiones particulares. Cuando se dispone de evidencias fósiles se ve que ni las revoluciones mayores ni las orogenias menores son exactamente contemporáneas en distintas partes del mundo.

Los Alpes y el Himalaya son ejemplos del último ciclo orogénico, el ciclo *Alpino,* en el que, de hecho, aún estamos. Las rocas de Cornualles y Devon, y sus prolongaciones continentales, se encuentran entre las formadas en el ciclo europeo inmediatamente precedente —llamado por los geólogos *Herciniano* (nombre dado por los romanos a las montañas de bosques de Alemania, tipificados en las montañas Harz)—, ciclo que alcanzó su culminación de formación de montañas a fines del Carbonífero. Las rocas de la mayor parte de Escocia y del distrito English Lake, Gales y Noruega representan el ciclo aún más antiguo llamado *Caledoniano.* En Finlandia y Suecia, a un lado del cinturón orogénico caledoniano, y en las Hébridas y en los Highlands noroccidentales de Escocia, al otro lado, aparecen en superficie rocas de ciclos mucho más antiguos (véase fig. 7.13).

Así, yendo más lejos que Hutton, también podemos ir más atrás en el tiempo, a través de una serie mucho más larga de estos volúmenes replegados de historia de la tierra. Y aunque nos adentremos más en el pasado, siempre nos encontramos, como Hutton, con que «no hay vestigios de un comienzo». Aunque Hutton no hizo más que registrar la verdad, sus palabras fueron deformadas por sus críticos, indicando que, según él, la tierra no había tenido principio y por lo tanto nunca fue creada. Así, en lugar de ser bien recibidos, los grandes descubrimientos de Hutton fueron vistos con horror puritano.

caledoniano HERCINIANO ALP

REFERENCIAS SELECCIONADAS

BENNISON, G. M. and WRIGHT, A. E., 1969, *Principles of Stratigraphy*, Edward Arnold, London.

DUNBAR, C. O., and RODGERS, J., 1957 *Principles of Stratigraphy*, Wiley, New York.

HEDBERG, H. D., 1961, 'The stratigraphic panaroma', *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 72, pp. 499–518.

OAKLEY, K. P., and MUIR-WOOD, H. M., 1960, *The Succession of Life through Geological Time*, British Museum (Natural History), London.

RAYNER, D. H., 1967, *The Stratigraphy of the British Isles*, Cambridge University Press, London.

TOMKEIEFF, S. I., 1962 'Unconformity—an historical study', *Proceedings of the Geologists' Association*, London, vol. 73, pp. 383–417.